

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 823 968

(21) N° d'enregistrement national :

01 05754

(51) Int Cl<sup>7</sup> : A 61 B 6/00

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 27.04.01.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : GE MEDICAL SYSTEMS GLOBAL  
TECHNOLOGY COMPANY, LLC. — US.

(43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 31.10.02 Bulletin 02/44.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du  
présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(72) Inventeur(s) : KERRIEN ERWAN, MAURINCOMME  
ERIC, VAILLANT REGIS et LAUNAY LAURENT.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : CASALONGA ET JOSSE.

(54) PROCEDE D'ETALONNAGE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE, SUPPORT DE MEMOIRE ET DISPOSITIF  
ASSOCIE.

(57) Procédé d'étalonnage d'un système d'imagerie, dans  
lequel on étalonne des paramètres intrinsèques relatifs aux  
différents types d'images pouvant être prises dans des po-  
sitions angulaires prédéterminées du moyen d'émission, et  
du moyen de réception, les paramètres intrinsèques étant  
estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un  
champ de distorsion pour une angulation particulière, le  
champ de distorsion pour une angulation quelconque étant  
calculé par interpolation polynomiale des champs de distor-  
sion établis chacun pour un point de contrôle, un point de  
contrôle étant défini par une angulation particulière par axe  
de rotation du système d'imagerie, devant faire l'objet d'un  
étalonnage.

FR 2 823 968 - A1



## **Procédé d'étalonnage d'un système d'imagerie, support de mémoire et dispositif associé**

La présente invention concerne le domaine de l'étalonnage d'une chaîne de traitement d'images pour corriger des distorsions, en particulier dans des images radiologiques bidimensionnelles, par exemple dans le domaine de la radiologie.

5 De façon connue, les appareils de radiologie comprennent un moyen d'émission d'un faisceau de rayons X ou ensemble radiogène tel qu'un tube à rayons X et un moyen de réception dudit faisceau tel qu'un détecteur à l'état solide ou encore un scintillateur et une caméra vidéo, par exemple de type CCD.

10 Le moyen d'émission et le moyen de réception de rayons X sont généralement supportés par un système mobile à un ou plusieurs axes, permettant des prises de vue selon différentes incidences. Le moyen de réception du faisceau de rayons X est relié à des moyens de traitement d'images permettant la génération d'images tridimensionnelles à partir 15 d'une série d'images bidimensionnelles prises par le moyen de réception.

Il s'avère important d'obtenir une bonne correspondance entre une image tridimensionnelle et une image bidimensionnelle prise lors d'une étape au cours de laquelle le patient subit une action particulière telle que la pose d'un cathéter dans le domaine de l'angiographie, pour 20 pouvoir suivre le déplacement du cathéter dans l'image bidimensionnelle mais également dans l'image tridimensionnelle.

25 A cet effet, un étalonnage de la machine de radiologie est effectué lors de sa mise en service puis à intervalles réguliers, pour tenir compte des imperfections de différents éléments de la machine de radiologie, tels que la déformation des supports du moyen d'émission et du

moyen de réception de rayons X, les imprécisions des capteurs, les défauts du récepteur, etc.

5 Jusqu'à présent, un étalonnage pour certaines configurations de la machine est effectué à intervalles courts, par exemple une semaine, d'où une immobilisation de la machine et un coût de main d'œuvre importants.

La présente invention propose, notamment, un procédé d'étalonnage perfectionné permettant une précision améliorée des images obtenues pour toutes les configurations de distorsion et des paramètres intrinsèques de la géométrie conique de la machine.

10 La présente invention propose, notamment, un procédé d'étalonnage économique réduisant la durée des opérations d'étalonnage d'entretien effectuées régulièrement au cours de la vie d'une machine d'imagerie.

15 Le procédé d'étalonnage, selon un aspect de l'invention, est destiné à un système d'imagerie, comprenant un moyen d'émission d'un faisceau d'énergie, un moyen de réception du faisceau d'énergie après qu'il a traversé un organe à étudier, un moyen de commande du moyen de réception, un moyen de support dudit organe et un moyen de mise en forme d'images. On étalonne des paramètres intrinsèques relatifs aux différents 20 types d'images pouvant être prises dans une configuration prédéterminée du système, les paramètres intrinsèques étant estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un champ de distorsion pour une configuration particulière, le champ de distorsion pour une configuration quelconque étant calculé par combinaison d'une pluralité de champs de distorsion de causes supposées indépendantes.

25 Dans un mode de réalisation de l'invention, on détermine un champ de distorsion  $D_0$  dû au champ électromagnétique terrestre à partir d'une image dudit fantôme prise dans une position centrale du système d'imagerie selon chaque axe de rotation, ledit champ de distorsion  $D_0$  étant indépendant de l'angulation. Le champ de distorsion  $D_0$  sera recalculé fréquemment pour tenir compte des variations du champ électromagnétique terrestre. Au contraire, les autres distorsions évoluent de façon plus lente et pourront être recalculées moins fréquemment, par exemple annuellement.

30 35 Dans un mode de réalisation de l'invention, on étalonne des

paramètres intrinsèques relatifs aux différents types d'images pouvant être prises dans des positions angulaires prédéterminées du moyen d'émission et du moyen de réception, les paramètres intrinsèques étant estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un champ de distorsion pour une angulation particulière, le champ de distorsion pour une angulation quelconque étant calculé par interpolation polynomiale des champs de distorsion établis chacun pour un point de contrôle, un point de contrôle étant défini par une angulation particulière par axe de rotation du système d'imagerie, devant faire l'objet d'un étalonnage.

De préférence, les points de contrôle sont définis de façon telle qu'ils recouvrent totalement et régulièrement le domaine des orientations possibles de la machine considérée. Si autour d'un axe, la rotation est possible sur plus de  $180^\circ$ , il suffira de prendre  $-90^\circ$ ,  $0^\circ$  et  $+90^\circ$  comme angulations particulières,  $0^\circ$  étant la position médiane par rapport aux extrêmes.

De préférence, la fonction d'interpolation est de type biquadratique ou bicubique.

Avantageusement, on établit une relation entre des paramètres d'interpolation  $u$ ,  $v$  et l'angulation, la relation étant de type  $u(x) = ax^5 + bx^3 + cx$ ,  $x$  étant une coordonnée d'un point, de façon que le champ de distorsion soit déterminé en fonction de l'angulation, la fonction d'interpolation permettant de déterminer la distorsion en fonction des paramètres d'interpolation  $u$ ,  $v$ .

Avantageusement, la fonction  $u(x)$  est de type  $u(x) = \alpha(A+\beta)x^5 + \gamma(A+\delta)x^3 + \varepsilon(A+\phi)x$ ,  $A$  étant une constante dépendant du type de système d'imagerie,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\varepsilon$  et  $\phi$  étant des constantes déterminées expérimentalement.

Plus particulièrement, la fonction  $u(x)$  est de type  $u(x) = (A-1,5)x^5 + (2,5-2A)x^3 + Ax$ .  $A$  peut être supérieur ou égal à 0 et inférieur ou égal à  $15/8$ .

De préférence, on utilise un paramètre d'interpolation pour chaque angle définissant la position du système d'imagerie.  $A$  sera calculé pour chaque angle. Les points de contrôle seront au nombre de  $(n+1)^2$ , avec  $n$  valant au minimum 2 pour l'interpolation biquadratique et 3 pour l'interpolation bicubique.

5        Dans un mode de réalisation de l'invention, on détermine un champ de distorsion  $D_I$  dû à une inversion d'image par inversion du sens de balayage du moyen de réception du faisceau d'énergie par comparaison d'une image dudit fantôme retournée après sa prise et d'une image dudit fantôme prise en balayage inversé, et ce pour les changements de balayage utilisés.

10      Dans un mode de réalisation de l'invention, on détermine un champ de distorsion  $D_R$  dû à un changement de résolution du moyen de réception du faisceau d'énergie par comparaison d'une image dudit fantôme prise avec une première résolution et d'une image dudit fantôme prise avec une deuxième résolution différente de la première, et ce pour les changements de résolution utilisés.

15      Dans un mode de réalisation de l'invention, on détermine un champ de distorsion  $D_M$  dû à un changement de matrice d'acquisition du moyen de réception du faisceau d'énergie par comparaison d'une image dudit fantôme prise avec une première matrice d'acquisition et d'une image dudit fantôme prise avec une deuxième matrice d'acquisition différente de la première, par exemple lors d'un changement d'une matrice d'acquisition de 512x512 pixels à une matrice d'acquisition de 1024x1024 pixels, et ce pour les changements de matrice d'acquisition utilisés.

20      L'invention propose, également, un support de mémoire contenant des instructions pour mettre en œuvre un procédé d'étalonnage d'un système d'imagerie comprenant un moyen d'émission d'un faisceau d'énergie, un moyen de réception du faisceau d'énergie après qu'il a traversé un organe à étudier, un moyen de commande du moyen de réception, un moyen de support dudit organe et un moyen de mise en forme d'images, procédé dans lequel on étalonne des paramètres intrinsèques relatifs aux différents types d'images pouvant être prises dans une configuration prédéterminée du système, les paramètres intrinsèques étant estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un champ de distorsion pour une configuration particulière, le champ de distorsion pour une configuration quelconque étant calculé par combinaison d'une pluralité de champs de distorsion de causes supposées indépendantes.

25      L'invention propose, également, un système d'imagerie comprenant un moyen d'émission d'un faisceau d'énergie, un moyen de

réception du faisceau d'énergie après qu'il a traversé un organe à étudier, un moyen de commande du moyen de réception, et un moyen de mise en forme d'images. Le système comprend un moyen d'étalonnage des paramètres intrinsèques relatifs aux différents types d'images pouvant être prises dans une configuration prédéterminée du système, les paramètres intrinsèques étant estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un champ de distorsion pour une configuration particulière, le champ de distorsion pour une configuration quelconque étant calculé par combinaison d'une pluralité de champs de distorsion de causes supposées indépendantes.

10 Dans un mode de réalisation de l'invention, le fantôme bidimensionnel comprend une grille.

15 Dans un mode de réalisation de l'invention, on effectue un étalonnage lors de l'installation du système d'imagerie. Il peut s'agir de l'étalonnage des paramètres de la géométrie conique et de la constante A.

20 En outre, on peut étalonner des paramètres extrinsèques relatifs à la position dudit organe par rapport au système d'imagerie, du moyen de réception et du moyen de support, pour déterminer la géométrie d'acquisition et le champ de distorsion quelle que soit la position du moyen d'émission et du moyen de réception, les paramètres extrinsèques étant calculés à l'aide d'un fantôme tridimensionnel pour des positions prédéterminées du moyen d'émission. Le même fantôme peut servir à l'étalonnage des deux types de paramètres.

25 Avantageusement, les positions prédéterminées pour le calcul des paramètres intrinsèques tiennent compte de la distance entre moyen d'émission et moyen de réception, de la résolution, et de la matrice image.

30 Dans un mode de réalisation de l'invention, au moins trois images d'un fantôme sont prises pour trois valeurs différentes de la distance entre moyen d'émission et moyen de réception.

Dans un mode de réalisation de l'invention, la position du système d'imagerie est mesurée par des capteurs.

Dans un mode de réalisation de l'invention, on effectue un étalonnage à intervalles de temps prédéterminés.

35 L'invention permet de corriger des distorsions dans de nombreux types d'appareils de d'imagerie, notamment de radiologie avec des images

bi ou tridimensionnelles.

Une autre application serait simplement d'obtenir des images géométriquement correctes afin de pouvoir effectuer des mesures plus fiables dans les images bidimensionnelles. Ceci est également valable pour l'estimation des paramètres intrinsèques de la géométrie conique qui permettent de déduire, entre autres, le grossissement dans les images, ce qui aide au recalage 2D/3D mais également permet de traduire des mesures effectuées dans les images (donc données en pixels) en des mesures métriques (donc en millimètres).

On cherche à estimer le champ de distorsions présent dans les images radiographiques, quelle que soit la configuration de la machine lors de la prise d'image. L'intérêt de pouvoir estimer ce champ de distorsion est que l'on peut grâce à cette connaissance corriger les images des distorsions. Les images radiographiques sont alors géométriquement correctes, ce qui permet d'utiliser un modèle de projection conique dans un procédé de recalage 2D/3D, mais encore de pouvoir faire des mesures plus fiables dans les images 2D.

Un procédé spécial est nécessaire, étant donné le grand nombre de configurations possibles de la machine. Le principe général du procédé est de retrouver la distorsion différentielle par rapport à un champ de distorsions  $D_0$  de référence. Cette distorsion différentielle est due principalement à quatre causes intervenant lors d'un changement de configuration de la machine.

- 1) Changement de sens du balayage caméra
- 2) Changement de matrice d'acquisition
- 3) Changement de taille de champ de vue
- 4) Changement de l'orientation spatiale de l'arceau portant l'émetteur et le récepteur.

Une configuration de la machine peut se définir comme la donnée de l'état du balayage caméra (par exemple : normal, inverse horizontalement, inverse verticalement ou inverse horizonto-verticalement), la taille de la matrice d'acquisition (par exemple : 256, 512 ou 1024 pixels), la taille du champ de vue (par exemple : 11 cm, 16 cm, 22 cm ou 30 cm) et l'orientation de l'arceau dans l'espace (donnée par deux angles, par exemple les angles anatomiques).

Une configuration de référence est définie en fixant : le sens du balayage caméra (par exemple normal), la taille de la matrice d'acquisition (par exemple 512 pixels), la taille du champ de vue (par exemple 22 cm) et l'orientation de l'arceau dans l'espace (par exemple pour le plan frontal, la position anatomique correspondant à la position de face : angles anatomiques RAO/LAO=0 et CRA/CAU=0 degrés. Pour le plan latéral, nous prendrons de préférence la position de profil : angles anatomiques RAO/LAO=90 degrés et CRA/CAU=0 degrés).

Le champ de distorsions  $D_0$  est estimé à partir d'une image du fantôme de grille bidimensionnel acquise dans la configuration de référence.

Par conception du fantôme de grille, le champ de distorsion est équivalent à la donnée de la distorsion en tous les noeuds, c'est-à-dire un vecteur bidimensionnel donnant le décalage suivant les lignes et les colonnes de l'image entre la position du noeud détecté dans l'image de grille et la position théorique qu'il devrait avoir si l'image ne contenait pas de distorsion.

Un champ de distorsion différentiel est la différence noeud à noeud entre deux champs de distorsions et est donc un champ de distorsion lui-même.

On note " $\circ$ " l'application d'un champ de distorsion à une image. Par exemple, soit  $I$  une image et  $D$  un champ de distorsions, l'image  $I' = D \circ I$  est l'image  $I$  distordue par le champ de distorsion  $D$ . De même, soit un autre champ  $D'$ , l'image  $I'' = D' \circ I'$  est l'image distordue par le champ de distorsion  $D'$ . Nous avons donc  $I'' = D' \circ D \circ I = (D' \circ D) \circ I$ . Le champ de distorsion  $D'' = D' \circ D$  est donc le champ de distorsion qu'il faut appliquer à  $I$  pour obtenir l'image  $I''$ . On dit que  $D'$  est le champ de distorsion différentiel entre le champ  $D$  et le champ  $D''$ .

On suppose que quatre causes de variation de distorsion (changement, par rapport à la configuration de référence, dans le balayage caméra, dans la matrice d'acquisition, dans le champ de vue et/ou dans l'orientation de l'arceau) sont indépendantes. Nous pouvons alors écrire tout champ de distorsion  $D$ , observé dans les images acquises pour une configuration particulière de la machine comme étant composé de l'application successive du champ de référence  $D_0$ , puis du champ

différentiel dû au changement du balayage caméra  $D_I$ , puis du champ différentiel dû au changement de la matrice d'acquisition  $D_M$ , puis du champ différentiel dû au changement dans la taille du champ de vue  $D_F$ , puis du champ différentiel dû au changement dans l'orientation de l'arceau  $D_A$ , soit :

$$D = D_A \circ D_F \circ D_M \circ D_I \circ D_o$$

Le procédé permet de retrouver ces champs différentiels pour toutes les configurations possibles de la machine.

Concernant les trois premières causes de variation de la distorsion (inversion caméra, matrice d'acquisition, champ de vue), les valeurs que peuvent prendre ces paramètres sont en très petit nombre (moins de 5 sur les machines actuelles). Invoquant leur indépendance, on peut estimer le champ de distorsion différentiel dû à un changement dans un seul d'entre eux, quelle que soit la valeur des autres paramètres. En particulier, on peut utiliser pour les autres paramètres les valeurs définies pour la configuration de référence. Par exemple, pour les changements dans l'inversion caméra, quatre configurations d'étalonnage peuvent être définies :

- $I_1$  : tous les paramètres sont les mêmes qu'en configuration de référence, sauf le balayage caméra inversé horizontalement.
- $I_2$  : tous les paramètres sont les mêmes qu'en configuration de référence, sauf le balayage caméra inversé verticalement.
- $I_3$  : tous les paramètres sont les mêmes qu'en configuration de référence, sauf le balayage caméra inversé verticalement et horizontalement.

On estime les champs de distorsions  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  en acquérant une image de grille dans les configurations  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$  respectivement. On détermine ensuite les champs de distorsion différentiels  $D_{I1}$ ,  $D_{I2}$  et  $D_{I3}$  par comparaisons de  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  respectivement avec  $D_o$ . La comparaison revient à établir le vecteur de distorsion différentiel pour chaque noeud de la grille.

Pour retrouver la distorsion  $D$  pour une configuration particulière, il suffira de regarder l'état du balayage caméra :

- S'il n'y a pas d'inversion caméra, la distorsion  $D_I$  sera nulle
- Si le balayage caméra se fait en inversion horizontale,  $D_I = D_{I1}$
- Si le balayage caméra se fait en inversion verticale,  $D_I = D_{I2}$

• Si le balayage caméra se fait en inversion verticale et horizontale,  
 $D_I = D_{I3}$ .

On procède de manière similaire pour établir des champs de distorsion différentiels correspondant aux changements de matrice d'acquisition et de taille de champ de vue.

Le champ de distorsion, même lorsque l'inversion caméra, la matrice d'acquisition et le champ de vue sont gardés constants, va varier si l'orientation de l'arceau est modifiée. Ceci est dû au fait que la distorsion apparaît en partie parce que les électrons qui sont créés dans l'amplificateur de brillance voient leur trajectoire modifiée par l'action du champ électromagnétique local, cette modification étant fonction de l'angle entre la direction du champ électromagnétique local et la trajectoire des électrons. Si l'orientation de l'amplificateur de brillance est modifiée, l'angle respectif entre le champ électromagnétique local et la trajectoire des électrons est également modifié et une variation de distorsion s'ensuit.

A la différence des trois premiers paramètres, l'orientation de l'arceau prend des valeurs continues (donc une infinité de valeurs potentielles). On ne peut donc pas a priori estimer un champ de distorsion différentiel pour chaque orientation : on le fait pour un nombre fini de positions, dites de contrôle, et on en déduit le champ différentiel pour toute autre position quand on en a besoin, et non pas pendant l'étalonnage, par interpolation biquadratique.

Un mode de réalisation particulier de l'invention est illustré par les dessins annexés :

- la figure 1 est une vue en perspective d'un appareil de radiologie à trois axes qui peut être utilisé pour mettre en oeuvre le procédé ;

- la figure 2 est une vue d'une grille d'étalonnage telle qu'observée sur un moyen de visualisation d'images associé au système de radiologie ;

- la figure 3 est une courbe de la fonction  $u(x)$  pour plusieurs paramétrages ; et

- la figure 4 est un organigramme des étapes de procédé.

Comme on peut le voir sur la figure 1, l'appareil de radiologie

comprend un pied 1 en forme de L, avec une base 2 sensiblement horizontale et un support 3 sensiblement vertical fixé à une extrémité 4 de la base 2. A l'extrémité opposée 5, la base 2 comprend un axe de rotation parallèle au support 3 et autour duquel le pied est capable de tourner. Un bras de support 6 est fixé par une première extrémité au sommet 7 du support 3, de façon rotative selon un axe 8. Le bras de support 6 peut présenter la forme d'une baïonnette. Un bras 9 circulaire en forme de C est maintenu par une autre extrémité 10 du bras de support 6. Le bras en C 9 est apte à coulisser de façon rotative autour d'un axe 13 par rapport à l'extrémité 10 du bras de support 6.

Le bras en C 9 supporte un tube à rayons X 11 et un détecteur d'énergie 12 en positions diamétralement opposées se faisant face. Le détecteur 12 comprend une surface plane de détection. La direction du faisceau de rayons X est déterminée par une ligne droite joignant un point focal du tube 11 au centre de la surface plane du détecteur 12. Les trois axes de rotation du pied 1, du bras de support 6 et du bras en C 9 sont sécants en un point 14. En position moyenne, ces trois axes sont mutuellement perpendiculaires.

Une table 15, prévue pour recevoir un patient, possède une orientation longitudinale alignée avec l'axe 8 en position de repos.

A titre d'exemple, un jeu d'images d'un vaisseau sanguin est acquis pour différentes positions de l'appareil de radiologie. Une image tridimensionnelle peut être ensuite reconstruite à partir du jeu d'images bidimensionnelles. Des vues bidimensionnelles de l'image tridimensionnelle peuvent être produites de façon interactive.

Sur la figure 2, est montré un exemple d'une image d'une grille d'étalonnage telle que qu'on peut l'observer sur un écran de visualisation d'un appareil de radiologie. La grille est disposée à la place d'un objet à radiographier sur le trajet du faisceau de rayons X entre le tube à rayons X 11 et le détecteur de rayons X 12. La grille est à mailles carrées en matériau opaque ou relativement opaque aux rayons X, par exemple en plomb ou en cuivre.

On constate que l'image de la grille n'en constitue pas la reproduction fidèle. Si le centre de la grille est convenablement reproduit, les bords présentent des distorsions que l'on cherche à calculer. En un

point donné de la grille, la distorsion peut être caractérisée par un vecteur ayant une direction et un module.

5 Parmi les causes de distorsion, on constate que certaines, comme les défauts du détecteur, sont indépendantes des angulations autour des axes de l'appareil de radiologie tandis que d'autres dépendent desdites angulations. Un étalonnage idéal nécessiterait de calculer la distorsion en tout point du champ image, pour toute angulation selon chacun des axes, et plus généralement pour toute configuration de la machine ce qui nécessiterait d'énormes ressources de calcul.

10 On cherche à obtenir un étalonnage satisfaisant à coût raisonnable et relativement rapidement. Dans ce but, on effectue un calcul du champ de distorsion pour quelques angulations dites de contrôle et on en déduit un champ de distorsion pour les autres angulations. Pour simplifier les calculs, on considérera la position spatiale du tube 11 et du détecteur 12, non par rapport aux axes de rotation de l'appareil de radiologie, mais par rapport à deux axes, de préférence orthogonaux entre eux et passant par l'isocentre, perpendiculaires à la direction du faisceau de rayons X, en d'autres termes définissant un plan parallèle à l'axe 13. Le troisième axe d'un repère formé à partir desdits deux axes est la direction du faisceau de rayons X. Une rotation du tube 11 et du détecteur 12 autour de ce troisième axe n'a pas d'effet sur la distorsion. Les angulations par rapport auxdits deux axes sont notées  $\theta$  et  $\phi$ .

25 La prise d'images peut se modéliser géométriquement comme une projection conique perturbée par un champ de distorsion bidimensionnel dans l'image.

30 Le détecteur d'image 12 est sensible au champ électromagnétique environnant, ce qui introduit des distorsions de l'image par rapport au modèle de projection conique. Une fonction de projection est donc vue comme la combinaison d'une projection conique et d'une fonction de distorsion qui vont dépendre toutes deux de l'état courant de l'appareil. La distorsion est une fonction du plan image dans lui-même. On suppose qu'elle est suffisamment régulière. On peut alors l'estimer de façon précise en la calculant sur un nombre de points épars dans l'image, sa valeur sur les autres points en étant déduite par interpolation.

Le fantôme utilisé pour l'étalonnage des distorsions consiste en une grille. Chaque intersection de la grille est appelée noeud. La position de chaque noeud est détectée dans l'image. La distorsion à chaque noeud est définie comme l'écart entre sa position dans l'image et celle qu'il doit avoir dans le modèle idéal de la grille. Quand la distorsion est corrigée, l'hypothèse de projection conique est applicable. Cette dernière est une fonction homographique de l'espace tridimensionnel dans lequel est exprimé l'objet vers le plan image. Elle se traduit par l'estimation d'une matrice  $3 \times 4$  à une constante multiplicative près. Nous avons ainsi onze paramètres à estimer, cinq paramètres intrinsèques modélisant la chaîne image et six paramètres extrinsèques donnant la position respective de l'ensemble émetteur-récepteur de rayons X et de l'objet imagé dans l'espace. Cette estimation de la projection conique est effectuée grâce à un autre fantôme consistant en un cylindre en plastique transparent aux rayons X sur lequel sont portées des billes en plomb disposées en hélice. Cette hélice permet d'avoir une trentaine de points visibles dans l'image. La détection de ces points et leur appariement avec ceux du modèle parfait de l'hélice permet de déterminer les paramètres de la projection conique.

En connaissant à priori la configuration de la machine dans laquelle sera prise une image, on peut alors déterminer avec une grande précision la fonction de distorsion grâce à la grille et la projection conique grâce à l'hélice. Par approximation, on considère que le champ magnétique terrestre est localement uniforme et varie peu dans un intervalle de temps de l'ordre de quelques jours. On considère également que le champ magnétique terrestre est régulier, ce qui permet de considérer un faible nombre d'échantillons ou positions de contrôle, donc un faible nombre d'images de la grille.

Pour chaque axe définissant l'orientation, trois angulations de contrôle, voire quatre, s'avèrent utiles. Il en résulte donc neuf, voire seize positions de contrôle définies par une angulation et une interpolation de type biquadratique, voire bicubique. L'angulation considérée peut être une angulation "machine" par rapport à chacun des deux axes ou, préféablement, une angulation anatomique avec deux angles ( $\theta, \phi$ ) différents des angles "machine" mais pouvant s'exprimer en fonction d'eux.

5 Les positions de contrôle seront choisies régulièrement espacées et symétriques par rapport à l'origine, afin d'optimiser la densité des positions dans l'espace paramètre. Dans le cas de l'interpolation biquadratique, un ensemble de positions sera donc donné par des valeurs positives  $\theta_0$  et  $\phi_0$ , qui définissent des points de contrôle dans l'espace  $(\theta, \phi)$  :  $(0,0)$ ,  $(-\theta_0, 0)$ ,  $(\theta_0, 0)$ ,  $(0, -\phi_0)$ ,  $(0, \phi_0)$ ,  $(-\theta_0, -\phi_0)$ ,  $(-\theta_0, \phi_0)$ ,  $(\theta_0, -\phi_0)$ , et  $(\theta_0, \phi_0)$ . Un nombre plus élevé de points de contrôle peut être prévu.

10 Pour obtenir une précision satisfaisante, il convient d'éviter l'extrapolation, c'est-à-dire la génération de valeur de distorsion pour des angulations situées en-dehors de l'intervalle compris entre  $-\theta_0$  et  $\theta_0$ ,  $-\phi_0$  et  $\phi_0$ . On choisira donc les valeurs de  $\theta_0$  et de  $\phi_0$  correspondant à la totalité ou à une large plage de la gamme d'angulations possible de façon que l'ensemble des estimations soit effectué par interpolation,  $\theta_0$  et  $\phi_0$  restant inférieurs ou égaux à  $90^\circ$ .

15 Le principe de l'interpolation quadratique est le suivant. Trois points dits de contrôle  $P_i = (x_i, y_i)$  dans le plan peuvent être reliés par une courbe quadratique :  $(P_0)$

$$P(u) = (u^2, u, 1)M(P_1)$$

$$(P_2)$$

20 avec  $M$  une matrice caractéristique de l'interpolation quadratique :

$$M = \begin{matrix} 2 & -4 & 2 \\ -3 & 4 & -1 \\ 1 & 0 & 1 \end{matrix}$$

et  $u$  le paramètre de l'interpolation variant entre 0 et 1.

25 Pour l'interpolation biquadratique, une trajectoire d'un point dans le plan est paramétrée par deux paramètres d'interpolation  $u$  et  $v$ , et s'exprime :

$$P(u, v) = (v^2, v, 1)M(P_{1,0} P_{1,1} P_{1,2})M'(u)$$

$$(P_{2,0} P_{2,1} P_{2,2}) \quad (1)$$

30 La généralisation à un nombre de points plus élevé est possible. La fonction d'interpolation relie les points de contrôle à tout point de la trajectoire par les paramètres d'interpolation  $u$  et  $v$ . Plus précisément nous relierons ces points à des angles anatomiques définis en fonction d'angles de la machine. On peut prendre  $u$  et  $v$  comme coordonnées réduites des angles

anatomiques, du genre  $u = (\theta - \theta_{\min}) / (\theta_{\max} - \theta_{\min})$ . Toutefois, on préférera prendre  $u = f((\theta - \theta_{\min}) / (\theta_{\max} - \theta_{\min}))$  et  $v = g((\phi - \phi_{\min}) / (\phi_{\max} - \phi_{\min}))$

f et g sont des fonctions impaires, croissantes et telle que  $f(1) = 1$  et  $f'(1) = 0$ , ce qui aboutit à une fonction polynomiale de type  $ax^5 + bx^3 + cx$ .

5

Plus précisément, on parvient à utiliser une fonction incluant une constante A qui dépend du type d'appareil de radiologie et qui sera conservée pour une même série d'appareils. La fonction de distorsion s'écrit alors : type  $f(x) = \alpha(A+\beta)x^5 + \gamma(A+\delta)x^3 + \varepsilon(A+\phi)x$ .

10

Une bonne approximation est fournie par la fonction suivante :  $f(x) = (A - 1,5)x^5 + (2,5 - 2A)x^3 + Ax$ , avec A compris entre 0 et 15/8. La valeur de A = 1,25 est particulièrement intéressante dans la mesure où elle permet d'obtenir une estimation convenable de la distorsion. A titre d'exemple, pour un champ de 16, l'erreur moyenne est d'environ 0,8 pixel avec 1,95 pixels d'erreur maximale. Pour un champ de 22, l'erreur moyenne est d'environ 0,75 pixel avec une erreur maximale de 1,65 pixels. Pour un champ de 30, l'erreur moyenne est de l'ordre de 0,6 pixel avec une erreur maximale de 1,42 pixels.

15

Plus généralement, on définit N points de contrôle, d'où N orientations  $(A_n)_{1 \leq n \leq N}$ , chaque orientation  $A_n$  étant définie par les angles  $(\theta_n, \phi_n)$  coordonnées du point de contrôle numéro n. N configurations de la machine sont définies :

20

- le balayage caméra est le même que pour la configuration de référence (par exemple balayage normal)

25

- la matrice d'acquisition est la même que pour la configuration de référence (par exemple matrice 512)

- la taille du champ de vue est la même que pour la configuration de référence (par exemple champ de 22 cm)

30

- l'orientation est celle correspondant au point de contrôle :  $A_n = (\theta_n, \phi_n)$

On acquiert une image de grille pour ces N configurations et on en déduit N champs de distorsions différentiels  $(D_{An})_{1 \leq n \leq N}$  par comparaisons des champs de distorsion observés pour les N configurations et le champ de distorsion pour la configuration de référence.

35

Par interpolation, on retrouve la distorsion différentielle pour

une configuration identique à la configuration de référence, si ce n'est que l'orientation est différente. Soit  $D_A$  la distorsion différentielle pour cette configuration. On détermine le rectangle formé par les 9 points de contrôle, pour l'interpolation biquadratique, 16 dans le cas de l'interpolation bicubique qui entourent le point de coordonnées  $(\theta, \phi)$  dans l'espace des orientations. Ces 9 (ou 16) points ne sont pas uniques en général, mais les propriétés de continuité des interpolations choisies garantissent que le résultat ne dépendra pas de l'ensemble de points retenus, dès lors qu'ils encadrent bien le point  $(\theta, \phi)$ . Nous retenons donc 9 (ou 16) champs de distorsion différentiels.

Un champ de distorsion différentiel est un ensemble de vecteurs bidimensionnels donnant la distorsion pour tous les noeuds de la grille.

Par interpolation, connaissant l'orientation courante  $(\theta, \phi)$ , on retrouve pour chaque noeud de la grille la valeur de la distorsion différentielle  $d$ . Ainsi, on détermine le champ de distorsion différentiel  $D_A$  pour l'orientation courante  $(\theta, \phi)$ .

Sur la figure 3, on voit les différentes allures que prend la fonction  $f(x, A)$  en faisant varier  $A$  entre 0 et 1,875.

Pour parfaire l'estimation de la distorsion, on peut considérer une fonction d'interpolation différente selon chaque axe, par exemple en adaptant la constante  $A$ . La constante  $A$  peut faire l'objet d'une estimation automatique en fonction des données d'un étalonnage composées de neuf images.

Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, on cherche à estimer deux champs de distorsion, le champ  $D_0$  lié au champ électromagnétique terrestre à l'endroit où se trouve l'appareil de radiologie et le champ  $D_V$  lié aux différentes angulations de l'appareil de radiologie. On pourra ainsi effectuer un étalonnage hebdomadaire ou mensuel du champ de distorsion  $D_0$  en raison de l'évolution relativement rapide du champ électromagnétique terrestre et n'effectuer un étalonnage du champ de distorsion  $D_V$  qu'à intervalles plus larges, par exemple semestriel ou annuel en raison de la dérive plus lente de cette distorsion.

On peut également calculer un champ de distorsion d'inversion  $D_I$  qui est lié à une inversion de l'image par inversion du balayage vidéo du détecteur. En effet, le détecteur n'étant pas parfait, l'inversion du

5 balayage crée aussi une distorsion qu'il est utile d'appréhender, notamment dans des applications de neuroradiologie, en particulier avec des machines de radiologie biplan équipées de deux tubes et de deux détecteurs pour lesquels une inversion mécanique de la prise de vue, en passant, par exemple, le tube de la droite à la gauche et le détecteur de la gauche à la droite, n'est pas possible. L'estimation du champ de distorsion  $D_I$  est effectuée en comparant une image obtenue en balayage normal puis retournée et une image obtenue en balayage inversé de la même grille.

10 En outre, on peut améliorer l'estimation de la distorsion en tenant compte du changement de champ de l'image. On estime alors un champ de distorsion  $D_R$  lié au réglage de résolution du détecteur.

15 Ainsi, un étalonnage complet est mis en œuvre lors de la réception et de la mise en service de l'appareil. Puis un étalonnage partiel est mis en œuvre à intervalles temporels courts et un étalonnage complet est mis en œuvre à intervalles temporels longs. L'étalonnage partiel pourra consister à seulement recalculer le champ de distorsion  $D_0$  lié au champ électromagnétique terrestre.

20 L'étalonnage complet pourra comprendre les étapes suivantes, voir figure 4 :

Étape 16 : installation de la grille sur le trajet du faisceau d'énergie par un responsable de maintenance,

Étape 17 : prise de neuf images de la grille pour les points de contrôle :  $(0,0)$ ,  $(-\theta_0, 0)$ ,  $(\theta_0, 0)$ ,  $(0, -\phi_0)$ ,  $(0, \phi_0)$ ,  $(-\theta_0, -\phi_0)$ ,  $(-\theta_0, \phi_0)$ ,  $(\theta_0, -\phi_0)$ , et  $(\theta_0, \phi_0)$ .

25 Étape 18 : calcul des champs de distorsion correspondants aux points de contrôle, et

Étape 19 : calcul des champs de distorsion  $D_0$  et  $D_v$ .

30 Il convient de noter que les étapes 17 et 18 peuvent être effectuées partiellement en même temps pour réduire la durée de l'étalonnage complet. Les autres champs de distorsion  $D_I$  et  $D_R$  feront, le cas échéant, l'objet d'étapes spécifiques, telles que pour le champ  $D_I$  prise d'une image de la grille pour le point de contrôle  $(0,0)$  en balayage inversé, retournement de l'image de la grille pour le point de contrôle  $(0,0)$  en balayage normal et comparaison, et pour le champ  $D_R$  prise d'images de la grille pour le point de contrôle  $(0,0)$  sous différentes résolutions et

comparaison.

L'étalonnage partiel pourra comprendre les étapes suivantes :

5                    a) installation de la grille sur le trajet du faisceau d'énergie par un responsable de maintenance,

                  b) prise d'une image de la grille pour le point de contrôle (0,0),

                  c) calcul du champ de distorsion  $D_0$  correspondant.

10                  On peut ensuite effectuer une combinaison du champ de distorsion  $D_0$  et des champs de distorsion  $D_v$ ,  $D_I$ ,  $D_R$ , et  $D_F$  non modifiés lors de l'étalonnage partiel pour obtenir les champs de distorsion interpolés pour toute angulation ( $\theta, \phi$ ) lorsque l'on désire corriger une image de la distorsion qu'elle contient.

15                  Reconsidérons à présent le problème initial qui consiste à estimer le champ de distorsion  $D$  pour une configuration de la machine donnée.

- On connaît le champ de distorsion différentiel  $D_I$  correspondant au changement de balayage caméra entre la configuration de référence et la configuration étudiée ("configuration courante")
- On connaît le champ de distorsion différentiel  $D_M$  correspondant au changement de matrice d'acquisition entre la configuration de référence et la configuration courante
- On connaît le champ de distorsion différentiel  $D_F$  correspondant au changement de taille du champ de vue entre la configuration de référence et la configuration courante
- On connaît le champ de distorsion différentiel  $D_A$  correspondant au changement d'orientation de l'arceau entre la configuration de référence et la configuration courante (par interpolation).

Ainsi, on peut en déduire le champ de distorsion pour la configuration courante de la machine :

30                  
$$D = D_A \circ D_F \circ D_M \circ D_I \circ D_0$$

Grâce à l'invention, on dispose d'un étalonnage économique, avec des durées d'immobilisation de l'appareil d'imagerie en vue de la maintenance réduite, et de haute précision dont une partie est réalisée lors de l'installation de l'appareil d'imagerie et n'a plus à être mise en oeuvre par la suite et qui est particulièrement adaptée pour la mise en

correspondance d'images bidimensionnelles et d'images tridimensionnelles, qui permet les reconstructions tridimensionnelles à partir d'un nombre limité de vues. On peut supprimer l'utilisation de marqueurs externes, en radiologie, au profit d'un étalonnage effectué avant l'arrivée du patient, ce qui réduit la durée de l'examen radiologique effectué sur le patient. On peut effectuer des mesures dans les images bidimensionnelles avec une précision accrue.

## REVENDICATIONS

1. Procédé d'étalonnage d'un système de d'imagerie, comprenant un moyen d'émission d'un faisceau d'énergie, un moyen de réception du faisceau d'énergie après qu'il a traversé un organe à étudier, un moyen de commande du moyen de réception, un moyen de support dudit organe et un moyen de mise en forme d'images, dans lequel on étalonne des paramètres intrinsèques relatifs aux différents types d'images pouvant être prises dans une configuration prédéterminée du système, les paramètres intrinsèques étant estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un champ de distorsion pour une configuration particulière, le champ de distorsion pour une configuration quelconque étant calculé par combinaison d'une pluralité de champs de distorsion de causes supposées indépendantes.  
5
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel dans lequel on détermine un champ de distorsion  $D_0$  dû au champ électromagnétique terrestre à partir d'une image dudit fantôme prise dans une position centrale du système d'imagerie selon chaque axe de rotation, ledit champ de distorsion  $D_0$  étant indépendant de l'angulation.  
10
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel on étalonne des paramètres intrinsèques relatifs aux différents types d'images pouvant être prises dans des positions angulaires prédéterminées du moyen d'émission et du moyen de réception, les paramètres intrinsèques étant estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un champ de distorsion pour une angulation particulière, le champ de distorsion pour une angulation quelconque étant calculé par interpolation polynomiale des champs de distorsion établis chacun pour un point de contrôle, un point de contrôle étant défini par une angulation particulière par axe de rotation du système d'imagerie, devant faire l'objet d'un étalonnage.  
15
4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel un point de contrôle est proche de chaque extremum de position angulaire.  
20
5. Procédé selon la revendication 3 ou 4, dans lequel la fonction d'interpolation est de type biquadratique ou bicubique.  
25
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on établit une relation entre des paramètres  
30

5 d'interpolation  $u, v$  et l'angulation, la relation étant de type  $u(x) = ax^5 + bx^3 + cx$ ,  $x$  étant une coordonnée d'un point, de façon que le champ de distorsion soit déterminé en fonction de l'angulation, la fonction d'interpolation permettant de déterminer la distorsion en fonction des paramètres d'interpolation  $u, v$ .

10 7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel la fonction  $u(x)$  est de type  $u(x) = \alpha(A+\beta)x^5 + \chi(A+\delta)x^3 + \varepsilon(A+\phi)x$ ,  $A$  étant une constante dépendant du type de système d'imagerie,  $\alpha, \beta, \chi, \delta, \varepsilon$  et  $\phi$  étant des constantes déterminées expérimentalement.

15 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on détermine un champ de distorsion  $D_I$  dû à une inversion d'image par inversion du sens de balayage du moyen de réception du faisceau d'énergie par comparaison d'une image dudit fantôme renversée après sa prise et d'une image dudit fantôme prise en balayage inversé, et ce pour les changements de balayage utilisés.

20 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on détermine un champ de distorsion  $D_R$  dû à un changement de résolution du moyen de réception du faisceau d'énergie par comparaison d'une image dudit fantôme prise avec une première résolution et d'une image dudit fantôme prise avec une deuxième résolution différente de la première, et ce pour les changements de résolution utilisés.

25 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on détermine un champ de distorsion  $D_M$  dû à un changement de matrice d'acquisition du moyen de réception du faisceau d'énergie par comparaison d'une image dudit fantôme prise avec une première matrice d'acquisition et d'une image dudit fantôme prise avec une deuxième matrice d'acquisition différente de la première, et ce pour les changements de matrice d'acquisition utilisés.

30 11. Support de mémoire contenant des instructions pour mettre en œuvre un procédé d'étalonnage d'un système d'imagerie comprenant un moyen d'émission d'un faisceau d'énergie, un moyen de réception du faisceau d'énergie après qu'il a traversé un organe à étudier, un moyen de commande du moyen de réception, un moyen de support dudit organe et un moyen de mise en forme d'images, procédé dans lequel on étalonne des

paramètres intrinsèques relatifs aux différents types d'images pouvant être prises dans une configuration prédéterminée du système, les paramètres intrinsèques étant estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un champ de distorsion pour une configuration particulière, le champ de distorsion pour une configuration quelconque étant calculé par combinaison d'une pluralité de champs de distorsion de causes supposées indépendantes.

12. Système d'imagerie, comprenant un moyen d'émission (11) d'un faisceau d'énergie, un moyen de réception (12) du faisceau d'énergie après qu'il a traversé un organe à étudier, un moyen de commande du moyen de réception, et un moyen de mise en forme d'images, caractérisé par le fait qu'il comprend un moyen d'étalonnage des paramètres intrinsèques relatifs aux différents types d'images pouvant être prises dans une configuration prédéterminée du système, les paramètres intrinsèques étant estimés à l'aide d'un fantôme bidimensionnel pour établir un champ de distorsion pour une configuration particulière, le champ de distorsion pour une configuration quelconque étant calculé par combinaison d'une pluralité de champs de distorsion de causes supposées indépendantes.

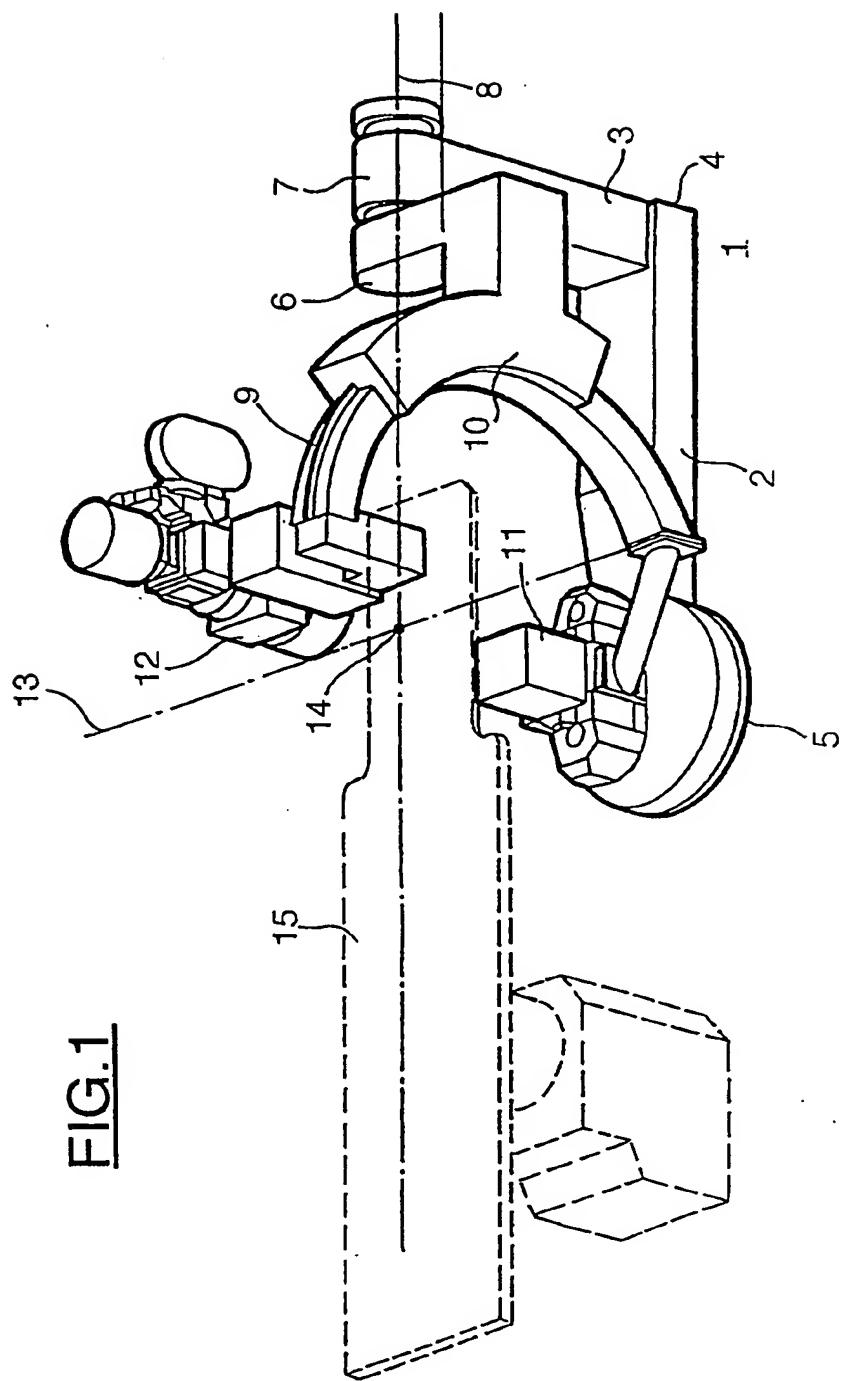


FIG. 1

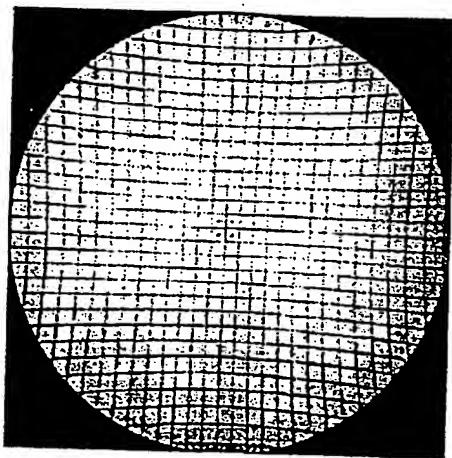
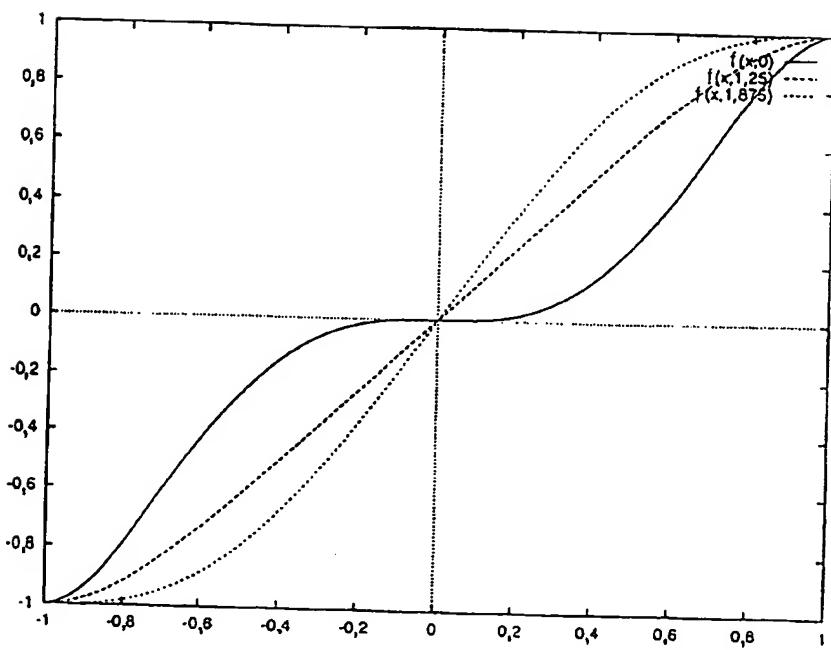
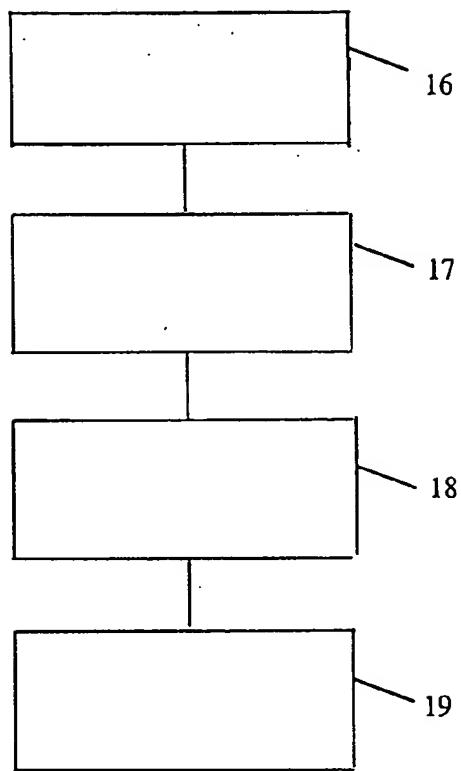
FIG.2FIG.3

FIG.4



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications  
 déposées avant le commencement de la recherche

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	<p>WO 00 58717 A (ERGUN DAVID L ; BISEK JOSEPH P (US); LUNAR CORP (US); MAZESS RICHARD)        5 octobre 2000 (2000-10-05)        * page 12, ligne 10 - page 14, ligne 23 *</p> <p>-----</p>	1, 11, 12	G01V13/00 A61B6/00
1			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.Cl.7)
			A61B G06T G01N
		Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
		16 janvier 2002	Martelli, L
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0105754 FA 605161**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-01-2002**.

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française.

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0058717	A 05-10-2000	US 6215846 B1	10-04-2001
		AU 4042800 A	16-10-2000
		WO 0058717 A2	05-10-2000
		US 6282261 B1	28-08-2001
		US 6315445 B1	13-11-2001
		US 2001053202 A1	20-12-2001